主要内容：

Chap11 波动光学

- **光的干涉**
  - 杨氏双缝（分波阵面）
    - $\Delta = d\dfrac{x}{d'}$
    - 劳埃德镜（半波损失）
  - 薄膜干涉（分振幅）
    - $\Delta_r = 2n_2 d\cos\gamma \quad (+\lambda/2)$
    - 等倾干涉
    - 等厚干涉
      - 劈尖
      - 牛顿环
      - 迈克尔逊干涉仪
  - 时间相干性
  - 空间相干性
- **光的衍射**
  - 惠更斯-菲涅耳原理
  - 菲涅耳衍射
  - 夫琅禾费衍射
    - 单缝衍射（半波带法）
      - 暗纹：$b\sin\theta = k\lambda$
    - 光栅衍射
      - $d\sin\theta = \pm k\lambda$
      - （缺级）
      - （最高级次）
    - 圆孔衍射
      - $\theta_0 = 1.22\dfrac{\lambda}{D}$
    - X射线的衍射
      - $2d\sin\theta = k\lambda$
- **光的偏振**
  - 光的偏振状态
  - 起偏方式：
    - 偏振片（马吕斯定律）
      - $I = I_0\cos^2\alpha$
    - 反射和折射（布儒斯特定律）
      - $\tan i_0 = \dfrac{n_2}{n_1}$
      - $i_0 + \gamma = \dfrac{\pi}{2}$
    - 双折射

1. 在双缝干涉实验中，波长**λ=550nm**的单色平行光垂直入射到缝间距 $d = 2\times 10^{-4}$ m 的双缝上，屏到双缝的距离**D=3 m**。求：

(1)中央明纹两侧的两条第**10**级明纹中心的间距；

(2)用一片厚度为 $e = 6.6\times 10^{-6}$ m 、折射率为**n=4/3**的玻璃覆盖一缝后，零级明纹将移到原来的第几级明纹处？

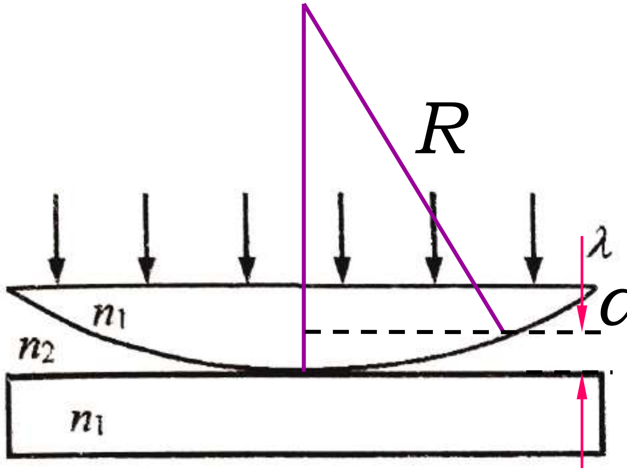
(1) $20\Delta x = 20\dfrac{D}{d}\lambda = 0.165\ \text{m}$

(2) 覆盖玻璃后，零级明纹 $\Delta = r_2 - [r_1 + (n-1)e] = 0$

覆盖玻璃前该点为k级明纹，则 $r_2 - r_1 = k\lambda$

$$k = \frac{(n-1)e}{\lambda} = 4$$

2. 如图,使用单色平行光垂直照射牛顿环实验装置中的平凸透镜,若已知入射光的波长为λ,玻璃和气体薄膜的折射率分别为n_1和n_2,且$n_1>n_2$.现测得某级明环的直径为D_k,在其外侧第5个明环的直径为D_{k+5}. (1)推导平凸透镜的曲率半径公式; (2)若$\lambda=590nm$, $n_1=1.5$, $n_2=1$, $D_k=3mm$, $D_{k+5}=4.6mm$, 求平凸透镜曲率半径R的大小。



$$r^2=R^2-(R-d)^2=2dR-d^2$$

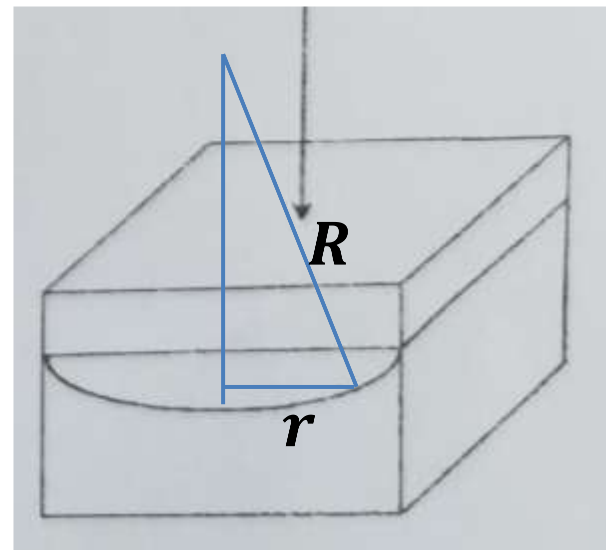
$$\because R>>d \quad \therefore d^2\approx 0$$

$$r=\sqrt{2dR}=\sqrt{(\Delta-\lambda/2)R/n_2}$$

$$=\sqrt{(k-1/2)R\lambda/n_2}$$ 明环半径 $$\Rightarrow r_{k+m}^2-r_k^2=mR\lambda/n_2$$

$$\Rightarrow R=\frac{n_2\left(D_{k+5}^2-D_k^2\right)}{20\lambda}=1.03\text{m}$$

3. 如图所示,将光滑的平板玻璃覆盖在柱形平凹透镜上，用波长为λ的平面单色光垂直照射平板破璃,观察透镜与平板玻璃之间空气层上、下表面反射光的干涉情况。设圆柱面的半径为R，柱面镜的最大深度h,且$h \ll R$。问：(1)若中央为暗纹,则从中央数第二条暗纹（中心）到中央暗纹（中心）的距离r是多少?(2)连续改变入射光的波长，在$\lambda = 500$ nm和$\lambda = 600$ nm 时,中央处均为暗纹(中心),则h为多少？(3)若轻压上玻璃片中央区域，条纹如何变化?



(1) 暗纹 $\Delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = k\lambda + \frac{\lambda}{2}$

第二条暗纹处 $r^2 + (R - \lambda)^2 = R^2$

$r \approx \sqrt{2R\lambda}$

(2) $2h = k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2$

$k_1 = 6,\ h = 1500\ \text{nm}$

(3)边缘始终是暗纹中心，条纹向中心收缩，条纹间距变大。

4. 有一衍射光栅，每毫米200条透光缝，每条透光缝的宽度为2μm，在光栅后放一焦距为f=1m的凸透镜。现以波长为λ=600nm的平行单色光垂直照射光栅，求：(1)透光缝的单缝衍射中央明纹宽度为多少？(2)在该宽度内，有几个光栅衍射主极大？(3)在（置于透镜焦平面上的）屏上，一共可以观察到多少个光强主极大？

(1) 衍射一级暗纹 $\sin\theta = \pm\frac{\lambda}{b} = \pm 0.3$

$x = f\tan\theta = \pm 0.314$ $\Delta x = 0.63\mathrm{m}$

(2) $d = \frac{1}{200}mm = 5\mu m$ $d\sin\theta = \pm k\lambda$

$k < \frac{d\sin\theta}{\lambda} = 2.5$ $k = 0, \pm 1, \pm 2$ 共看到5条主极大

(3) $k < \frac{d}{\lambda} = 8.3$ $\frac{d}{b} = \frac{5}{2} = \frac{k}{k'}$, 第5级缺级

$k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 6, \pm 7, \pm 8,$ 共看到15条主极大

5. 在一遮光板上有三条等距离等宽度的平行狭缝，每条透光缝的宽度为2μm，相邻两缝之间不透光部分的宽度为3μm，在遮光板后放有一焦距为f的凸透镜。现以波长为λ=600nm的平行单色光垂直照射遮光板，问：(1)在置于焦平面的屏幕上一共可以观察到多少条明条纹？(2)若只允许中间的狭缝透光，屏幕上一共可以观察到多少条暗纹？

(1) $(b+b')\sin\theta = k\lambda$　　$k < \dfrac{b+b'}{\lambda} = 8.3$

$$\frac{b+b'}{b} = \frac{5}{2} = \frac{k}{k'},\quad \text{第}\pm 5\text{级缺级}$$

$$k = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \pm4, \pm6, \pm7, \pm8,\ \text{共看到}15\text{条明纹}$$

(2) $b\sin\theta = k'\lambda$　　$k' < \dfrac{b}{\lambda} = 3.3$

$$k' = \pm1, \pm2, \pm3,\ \text{共看到}6\text{条单缝衍射暗纹}$$

6. 一衍射光栅每条透光缝的宽度为4μm，相邻两缝之间不透光部分的宽度也为4μm，在光栅后放有一焦距为1m的凸透镜。现以波长为λ=600nm的平行单色光垂直照射光栅，问：(1)在置于焦平面的屏幕上一共可以观察到多少条明条纹（中心）？(2)若将整个实验装置放在折射率为4/3的水中，则屏幕上一共可以观察到多少条明条纹（中心）？

(1) $$(b+b')\sin\theta = k\lambda \qquad k<\frac{b+b'}{\lambda}=13.3$$

$$\frac{b+b'}{b}=\frac{2}{1}=\frac{k}{k'}, \qquad \text{第}\pm 2k'\text{级缺级}$$

$$k=0,\pm1,\pm3,\pm5,\pm7,\pm9,\pm11,\pm13,\text{共观察到15条明纹}$$

(2) $$n(b+b')\sin\theta = k\lambda \qquad k<\frac{n(b+b')}{\lambda}=17.7$$

$$\frac{b+b'}{b}=\frac{2}{1}=\frac{k}{k'}, \qquad \text{第}\pm 2k'\text{级缺级}$$

$$k=0,\pm1,\pm3,\pm5,\pm7,\pm9,\pm11,\pm13,\pm15,\pm17,\text{共观察到19条明纹}$$

7. 将一束波长为λ=589nm的平行钠光垂直入射在1cm内有5000条刻痕的平面衍射光栅上，光栅的透光缝宽度*a*与其间距*b*相等，求：(1)光线垂直入射时，能看到几条谱线？是哪几级？(2)若光线以与光栅平面法线的夹角$\boldsymbol{\theta}=\mathbf{30°}$的方向入射时，能看到几条谱线？是哪几级

(1) $$d=a+b=\frac{l}{N}=\frac{0.01}{5000}=2\times10^{-6}\ \mathrm{m}$$

$$d\sin\varphi=k\lambda \qquad k<\frac{d}{\lambda}=3.4$$

$$\frac{d}{a}=\frac{2}{1}=\frac{k}{k'},$$ 第± 2级缺级

$k=0,\pm1,\pm3,$共观察到5条谱线

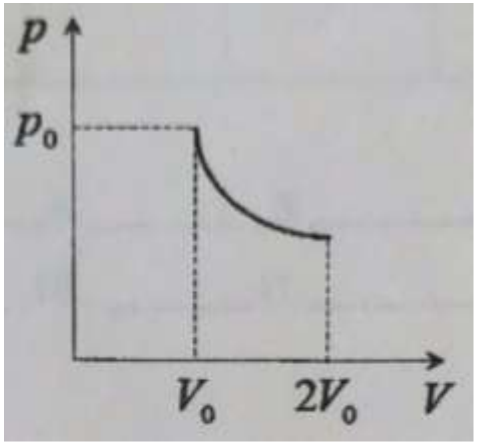
(2) $$d\sin\varphi+d\sin\theta=k\lambda$$ 当$\varphi=90°$时，$k_m=5.1$

当$\varphi=-90°$时，$k_m'=-1.7$

第$\pm 2k'$级缺级

$k=-1,0,1,3,5,$共观察到5条谱线

补充3. 一定量的单原子分子的理想气体经历准静态过程 pV^2 = 常数，体积变为原来的两倍。已知p_0和V_0，求（1）整个过程中，气体对外界做的功；（2）整个过程中，气体内能的改变量；（3）该过程的摩尔热容；（4）整个过程中，1mol这种气体的熵变。



解：(1) $$W=\int_{V_0}^{2V_0}pdV=\int_{V_0}^{2V_0}\frac{p_0V_0^2}{V^2}dV=\frac{p_0V_0}{2}$$

(2) $$i=3, C_{V,m}=\frac{3}{2}R$$

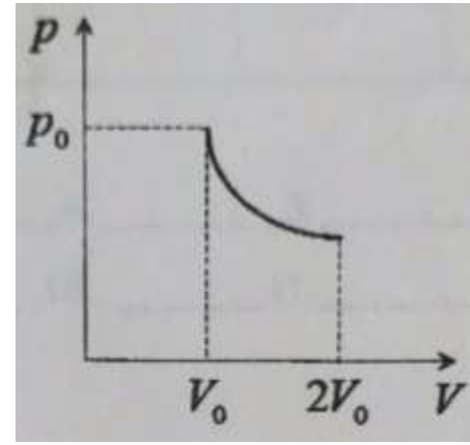
$$p_2=\frac{p_0V_0^2}{(2V_0)^2}=\frac{p_0}{4}$$

$$\Delta E=vC_{V,m}\Delta T=\frac{3}{2}\Delta(pV)=\frac{3}{2}\left(\frac{p_0}{4}2V_0-p_0V_0\right)=-\frac{3}{4}p_0V_0$$

(3) $$pV^2 = C \Longrightarrow VT = C'$$

$$\Longrightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{dT}{T}$$

$$\Longrightarrow pdV = \frac{C}{V^2}dV = -\frac{C}{V}\frac{dT}{T} = -\nu RdT$$



$$\mathrm{d}Q = \mathrm{d}E + p\mathrm{d}V = \frac{3}{2}\nu R\mathrm{d}T - \nu R\mathrm{d}T = \frac{1}{2}\nu R\mathrm{d}T$$

$$C_m = \frac{\mathrm{d}Q}{\nu\mathrm{d}T} = \frac{1}{2}R$$

或 $Q = \Delta E + W = -\frac{1}{4}p_0V_0 = \nu C_m\Delta T = -\nu C_m\frac{T_0}{2} = -\frac{C_m p_0 V_0}{2R}$

(4) $$\Delta S = \int\frac{\mathrm{d}Q}{T} = \frac{1}{2}R\int\frac{\mathrm{d}T}{T} = \frac{1}{2}R\ln\frac{T_2}{T_0} = \frac{1}{2}R\ln\frac{V_0}{2V_0} = -\frac{1}{2}R\ln 2$$

或 $\Delta S = \int\frac{\mathrm{d}E+pdV}{T} = \nu C_{V,m}\ln\frac{T_2}{T_0} + \nu R\ln\frac{V_2}{V_0} = -\frac{1}{2}R\ln 2 = -2.88\ \mathrm{J/K}$

4. 一个封闭的圆筒形容器，其内部被导热且不漏气的可移动活塞隔成A、B两部分。最初活塞位于圆筒的正中央，在活塞的两侧各自充以理想气体，使气体的状态分别为（p_A,T_A）和（p_B,T_B），则平衡时活塞两侧长度的比值l_A/l_B

A. $p_AT_A/(p_BT_B)$

B. $p_AT_B/(p_BT_A)$

C. $p_BT_B/(p_AT_A)$

D. $p_BT_A/(p_AT_B)$

$$\frac{l_A}{l_B}=\frac{V_A'}{V_B'}=\frac{v_ART_A'p_B'}{v_BRT_B'p_A'}$$

$$=\frac{p_AV_AT_B}{p_BV_BT_A}=\frac{p_AT_B}{p_BT_A}$$

[B]

10. 一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为T，气体分子的质量为m，根据理想气体分子模型和统计假设，速度在x方向分量的平均值为

A. $\sqrt{kT/2\pi m}$

B. $\frac{1}{3}\sqrt{8kT/\pi m}$

C. $\sqrt{8kT/3\pi m}$

D. 0

[D]

11. 一定量的理想气体贮于某一容器中，温度为T，气体分子的质量为m，根据理想气体分子模型和统计假设，速度在x方向分量的方均根值为

A. $\sqrt{3kT/m}$

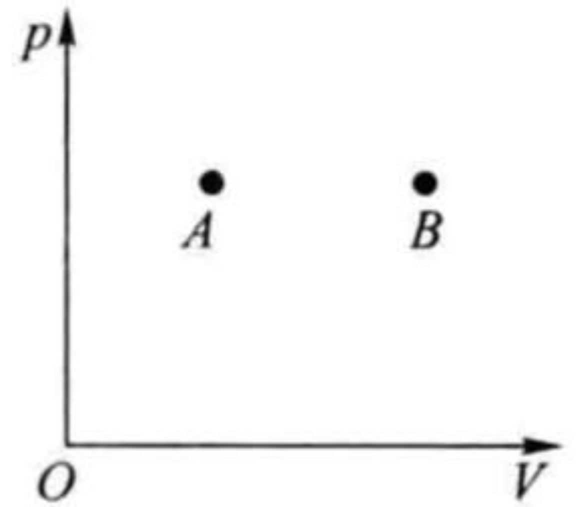
B. $\sqrt{kT/m}$

C. $\frac{1}{3}\sqrt{3kT/m}$

D. 0

[B]

20. 如图所示，一定量的理想气体,由平衡态A变到平衡态B,且它们的压强相等,即pA= pB; 则在状态A和状态B之间, 气体无论经过的是什么过程, 气体必然(　　)



A.对外做正功

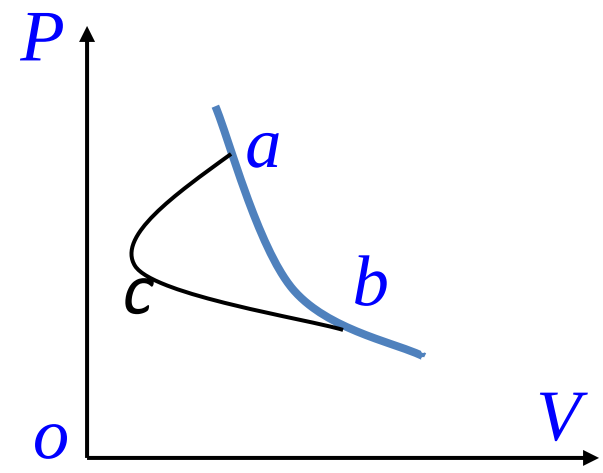
B.从外界吸热

C.向外界放热

D.内能增加

[D]

26. $b \to c \to a$准静态过程，a、b两点在同一条绝热线上，该系统在$b \to c \to a$过程



（A）只吸热，不放热

（B）只放热，不吸热

（C）有的阶段吸热，有的阶段放热，净吸热为正

（D）有的阶段吸热，有的阶段放热，净吸热为负

abca构成正循环，净吸热为正
其中ab绝热，bca有吸热有放热

[C]

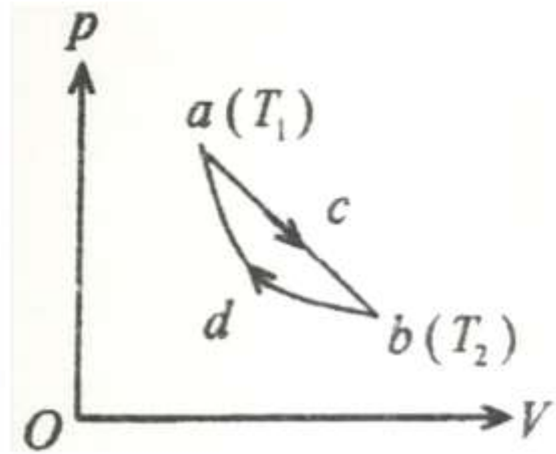
27. 如图所示，工作物质进行acbda可逆循环过程，a、b两点的温度分别为T_1和T_2。已知在过程acb中，工作物质从外界净吸收的热量为Q，其中放出的热量总和的绝对值为Q_2；过程bda为绝热过程；循环闭合曲线所包围的面积为A，则该循环的效率为

A. $\eta = A/Q$

B. $\eta > A/Q$

C. $\eta = A/(Q+Q_2)$

D. $\eta = 1 - T_2/T_1$



[C]

38. **1mol某单原子分子理想气体，初始时的体积为V，温度为T，经历一热力学过程后，体积变为2V，温度变为2T，已知R=8.31 J/(mol.K)，则气体在这一过程中的熵变最接近于以下的__________J/K。**

***A*、 8.6**

***B*、 10.2**

***C*、 14.4**

***D*、 16.5**

[C]

$$\Delta S=\int\frac{\mathrm{d}E+pdV}{T}=vC_{V,m}\ln\frac{T_2}{T_0}+vR\ln\frac{V_2}{V_0}=\frac{5}{2}R\ln 2=14.4\ \mathrm{J/K}$$

学习通 量子物理练习题

1. 下列物体中属于绝对黑体的是 （ ）

A、不辐射可见光的物体
B、不辐射任何光线的物体
C、不能反射可见光的物体
D、不能反射任何光线的物体

[D]

7. 在康普顿散射实验中，入射X射线波长是康普顿波长的9.5倍。若一入射光子在与一个静止的自由电子碰撞后，散射角为60°，则反冲电子动能与入射光子能量之比为

（A） 5% （B） 5.26% （C） 10% （D） 25%

$$E_k = h\nu_0 - h\nu = h\frac{c}{\lambda_0} - h\frac{c}{\lambda} = hc\frac{\Delta\lambda}{\lambda\lambda_0}$$

[A]

$$\frac{E_K}{E_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \qquad \frac{E_K}{E} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

8. 在康普顿散射实验中，入射X射线波长$\lambda_0 =$ 0.00897 nm，反冲电子的速度v=5c/13（c 为真空中的光速），则反冲电子运动的方向与入射X射线之间的夹角最接近下面哪个值？

（A） 10° （B） 20° （C） 30° （D） 40°

能量守恒 $\frac{hc}{\lambda_0} + m_0 c^2 = \frac{hc}{\lambda} + mc^2$

动量守恒 $\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{h}{\lambda_0}\right)^2 + p_e^2 - 2\frac{h}{\lambda_0} p_e \cos\varphi$

[B]

$$\cos\varphi = \frac{1}{5}\left(\frac{m_0 c \lambda_0}{h} + 1\right)$$

$\varphi = 20°$

12. 根据波尔的氢原子理论，在主量子数为**n**的定态，电子绕核圆轨道运动的周期$\mathbf{T_n}$ 与**n** 的关系为为

A、 $T_n \propto n$

B、 $T_n \propto n^2$

C、 $T_n \propto n^3$

D、 $T_n \propto n^{-1}$

[C]

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{n\hbar/mr}$$

15. 静止质量不为零的微观粒子作高速运动，这时粒子物质波的波长 λ 与速度 v 有如下关系（　）

(A) $\lambda \propto v$

(B) $\lambda \propto 1/v$

(C) $\lambda \propto \sqrt{\dfrac{1}{v^2} - \dfrac{1}{c^2}}$

(D) $\lambda \propto \sqrt{c^2 - v^2}$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \qquad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

[C]

16. 在证明电子波动性的戴维孙-革末实验中，当加速电压为U时，不考虑相对论效应，打到镍晶体上的电子的德布罗意波长为

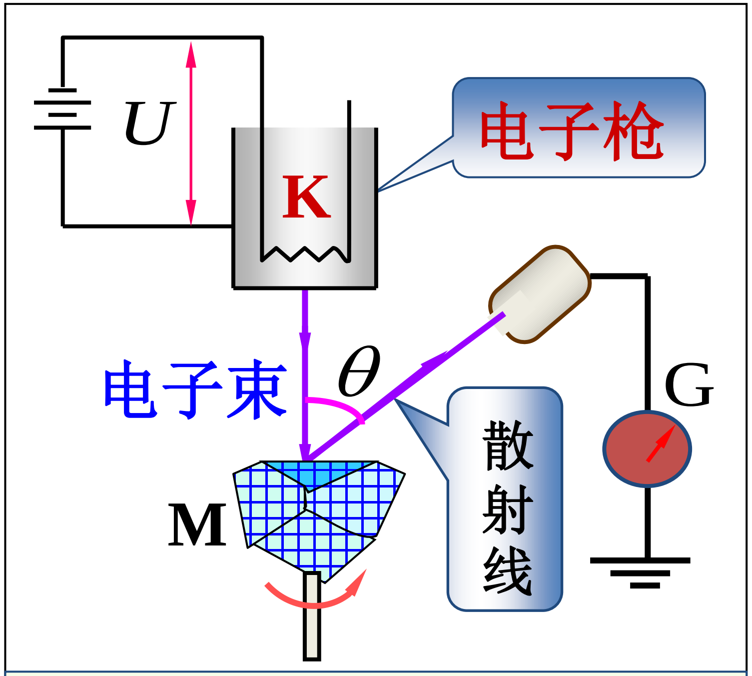
A、 $\sqrt{2emU}/h$

B、 $h/\sqrt{2emU}$

C、 $\sqrt{emU}/h$

D、 $h/\sqrt{2emU}$

[B]



电子被镍晶体衍射实验

18. 某光子的波长为λ=300 nm，如果确定此波长的精确度 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=10^{-6}$，则此光子位置的不确定量至少为

A、 0.3 m

B、 3×10^{-13} m

C、 1×10^{-6} m

D、 3×10^{-6} m

$$\Delta x=\frac{h}{\Delta p}=\frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$\Delta p=\frac{h}{\lambda}-\frac{h}{\lambda+\Delta\lambda}=\frac{h\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

[A]

24. 一粒子在宽度为2a的一维无限深势阱（-a<x<a范围内，Ep=0）中运动，当该粒子处于第二激发态时，在x=5a/6处出现的概率密度为

A、 1/2a

B、 3/2a

C、 1/4a

D、 1/a

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{1}{a}} \cos\frac{n\pi}{2a} x, \qquad (-a < x < a)$$

$$\left|\psi_3(x)\right|^2 = \frac{1}{a} \cos^2\frac{3\pi}{2a} x$$

[A]